

Aplicación del nuevo método de fotointerpretación Point cloud y escalamiento de ortomosaico con el uso de RPAS y la Fotogrametría, para desarrollo de la Planimetría topográfica del proyecto de Pavimentación vías urbanas Barrio El Progreso del municipio de Gualmatan- Nariño y su comparativo de precisión con la Topografía tradicional

**Luis Miguel Córdoba Moreno, Gloria Stephanie Criollo Figueroa, Jairo Daniel
Martínez Rosero**

**Trabajo investigativo para optar el título de Especialista en Interventoría y Supervisión
en la Construcción**

Director

Robert Gutiérrez Ortiz

Magister (c) Dirección y Gestión de Proyectos

Universidad Santo Tomás, Bucaramanga

División de Ingenierías y arquitectura

Especialización en Interventoría y Supervisión en la Construcción

2024

Contenido

Introducción	9
1. Planteamiento del problema.....	11
1.2 Justificación.....	11
1.3.1 Objetivo general	12
1.3.2 Objetivos específicos.....	13
2. Marco referencial.....	13
2.1 Marco teórico	13
2.2 Marco conceptual.....	17
2.2.1 Herramientas de Medición Tradicional	17
2.2.2 Medición aérea con drones	18
2.2.3 PIX4Dmapper	19
2.2.4 RECAP PHOTO	20
2.2.5 CAD	20
2.2.6 ARCGIS	21
2.2.7 GLOBALMAPPER	21
2.2.8 DEM.....	22
2.2.9 DTM.....	23
2.2.10 DSM.....	24
2.2.11 LIDAR	24
2.2.12 Ortomosaico	25
2.2.13 Ortofoto.....	25
2.2.14 Curvas de nivel	26

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO UTILIZANDO TECNOLOGÍA DE DRONES.	3
2.2.15 RPAS.....	27
2.2.16 Fotogrametría.....	27
2.2.17 Planimetría fotográfica.....	27
2.2.18 Escalamiento de ortomosaicos.....	28
2.2.19 Google Earth Pro.....	28
2.2.20 Concoord.....	29
2.3 Marco legal	29
2.3.1 Normativa Específica:.....	29
2.3.2 Clasificación de drones.	31
2.3.3 Requisitos de operación.	31
2.3.4 Licencia para volar drones en Colombia.	31
3. Enfoque - etapas y tareas	34
3.1. Fase 1. Recolección de información preexistente.	34
3.2. Fase 2. Trabajo de Campo y Equipo Utilizado.	36
3.3 Fase 3. Procesamiento de datos Pix 4D mapper.....	38
3.4 Fase 4. Fotointerpretación Point cloud y escalamiento de ortomosaico con el uso de RPAS y la Fotogrametría:	43
3.4.1. Edición de ortofoto en Recap Pro	43
3.4.2 Fotointerpretación y Planimetría en AutoCAD con Georreferenciación y puntos de control	44
4. Resultados.....	47
5. Fotointerpretación ArcGIS	48
6. Conclusiones y recomendaciones	50

LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO UTILIZANDO TECNOLOGÍA DE DRONES.	4
--	---

Referencias.....	52
------------------	----

Lista de tablas

Tabla 1 *Áreas tramos viales intervenidos* 47

Lista de figuras

Figura 1 <i>Procesamiento de Imágenes</i>	19
Figura 2 <i>Curvas de Nivel</i>	26
Figura 3 <i>Normativa de Drones en Colombia</i>	30
Figura 4 <i>Placas materializadas en el sector de estudio</i>	355
Figura 5 <i>Vuelo Dron EVO II Pro RTK V3</i>	36
Figura 6 <i>Plan de vuelo</i>	377
Figura 7 <i>Imágenes depuradas capturadas en el vuelo</i>	377
Figura 8 <i>Selección modelo de cámara</i>	398
Figura 9 <i>Configuración sistema de coordenadas</i>	39
Figura 10 <i>Ubicación en campo de puntos de control</i>	400
Figura 11 <i>Ingreso de puntos de control tomados en mapo en Pix 4D mapper</i>	411
Figura 12 <i>Puntos de control y emparejamiento</i>	421
Figura 13 <i>Nube de puntos Pix 4D mapper</i>	432
Figura 14 <i>Densificación de nube de puntos</i>	443
Figura 15 <i>Importación y alineación de Ortofoto en AutoCAD</i>	454
Figura 16 <i>Localización puntos de control</i>	454
Figura 17 <i>Fotointerpretación Pavimentación Barrio el progreso</i>	465
Figura 18 <i>Fotointerpretación ArcGIS</i>	498

Resumen

Este estudio se centra en la implementación de tecnologías avanzadas de fotogrametría y RPAS (Sistemas de Aeronaves Pilotadas Remotamente) para la elaboración de la planimetría topográfica en el proyecto de pavimentación de vías urbanas en el Barrio El Progreso, Gualmatán, Nariño. Se utilizó el método de fotointerpretación de nube de puntos (Point Cloud) y el escalamiento de ortomosaico para obtener datos precisos y detallados del terreno.

La precisión de los datos obtenidos mediante fotogrametría y RPAS fue evaluada y comparada con la topografía convencional, demostrando ventajas significativas en términos de tiempo, costo y detalle de la información recolectada.

La integración de tecnologías de fotogrametría y RPAS en proyectos de infraestructura urbana no solo mejora la precisión y eficiencia de los levantamientos topográficos, sino que también ofrece una metodología más adaptable y menos invasiva para el desarrollo de proyectos de pavimentación.

Palabras clave: Fotogrametría, RPAS, Planimetría, Ortomosaico, Topografía

Abstract

This study focuses on the implementation of advanced photogrammetry technologies and RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems) for the development of topographic mapping in the urban road paving project in the El Progreso neighborhood, Gualmatán, Nariño. The point cloud photointerpretation method and orthomosaic scaling were used to obtain precise and detailed data of the terrain.

The accuracy of the data obtained through photogrammetry and RPAS was evaluated and compared with conventional surveying, demonstrating significant advantages in terms of time, cost, and detail of the collected information.

The integration of photogrammetry and RPAS technologies in urban infrastructure projects not only improves the accuracy and efficiency of topographic surveys but also offers a more adaptable and less invasive methodology for the development of paving projects.

Keywords: Photogrammetry, RPAS, Mapping, Orthomosaic, Surveying

Introducción

El desarrollo de infraestructura vial en áreas urbanas es fundamental para el crecimiento económico y social de las comunidades. No obstante, uno de los mayores retos que enfrentan los proyectos de pavimentación es la necesidad de obtener información topográfica precisa y eficiente. Tradicionalmente, la topografía se ha llevado a cabo mediante métodos convencionales, que aunque efectivos, suelen ser costosos y demandar una gran cantidad de tiempo y recursos humanos. En este contexto, surge la necesidad de implementar tecnologías más avanzadas que optimicen estos procesos y mejoren la precisión de los datos recolectados.

El presente trabajo aborda la aplicación del nuevo método de fotointerpretación Point Cloud y el escalamiento de ortomosaico utilizando RPAS (Sistemas de Aeronaves Pilotadas Remotamente) y la fotogrametría, para el desarrollo de la planimetría topográfica del proyecto de pavimentación de vías urbanas en el Barrio El Progreso del municipio de Gualmatán, Nariño. Asimismo, se establece una comparativa de precisión con la topografía tradicional, a fin de evaluar la viabilidad y los beneficios de este nuevo enfoque. La topografía ha sido esencial en proyectos de pavimentación, proporcionando datos clave para su diseño y ejecución. Según Ávila (2020), la integración de nuevas tecnologías como la fotogrametría y los RPAS ha mejorado la calidad y velocidad de los levantamientos topográficos. No obstante, la adopción de estas técnicas sigue siendo limitada en algunos contextos, como en municipios rurales de Colombia. Estudios recientes, como los de Pérez y Martínez (2019), han demostrado que el uso de estas tecnologías puede ser tan preciso y rentable como los métodos tradicionales.

Esta investigación tiene el propósito de comparar la precisión y eficiencia del método de fotointerpretación Point Cloud y escalamiento de ortomosaico con la topografía tradicional en la elaboración de planimetría para un proyecto de pavimentación, así mismo analizar el impacto de

estas tecnologías en futuros proyectos viales en áreas rurales, donde la precisión topográfica es clave para la durabilidad de las obras.

La fundamentación de esta investigación se centra en comparar los resultados obtenidos mediante RPAS y fotogrametría con los métodos tradicionales. Estudios previos destacan que RPAS y fotogrametría ofrecen ventajas significativas en rapidez y precisión de datos. García et al. (2021) señalan que los RPAS permiten cubrir grandes áreas rápidamente y generar nubes de puntos detalladas. Esta investigación se justifica tanto por su eficiencia técnica como por su impacto social, ya que estas tecnologías pueden acelerar y mejorar proyectos de pavimentación, beneficiando a comunidades como Gualmatán al mejorar su infraestructura vial.

Finalmente, este documento contiene una revisión teórica de los métodos de topografía tradicional y las tecnologías RPAS y fotogrametría, la metodología empleada, los resultados obtenidos, una discusión comparativa de las técnicas, y las conclusiones y sugerencias.

1. Planteamiento del problema

En el desarrollo de proyectos de infraestructura vial, la precisión en la elaboración de la planimetría topográfica es crucial para garantizar el éxito en la ejecución de las obras. Tradicionalmente, la topografía se ha realizado mediante métodos convencionales que, aunque precisos, pueden ser lentos y costosos. Con el avance de nuevas tecnologías como los RPAS (drones) y la fotogrametría, surgen alternativas innovadoras que prometen optimizar estos procesos mediante técnicas como la fotointerpretación Point Cloud y el escalamiento de ortomosaicos. Sin embargo, surge la necesidad de evaluar si estas nuevas metodologías pueden igualar o superar la precisión y confiabilidad de la topografía tradicional.

El problema central que aborda esta monografía es determinar si la aplicación del método de fotointerpretación Point Cloud y el escalamiento de ortomosaico utilizando RPAS y fotogrametría, es una alternativa viable y precisa para el desarrollo de la planimetría topográfica en proyectos de pavimentación de vías urbanas. En particular, se pretende evaluar y comparar la precisión de esta nueva metodología con la topografía tradicional, en el contexto del proyecto de pavimentación de las vías del barrio El Progreso, en el municipio de Gualmatán, Nariño. La investigación busca identificar las ventajas y limitaciones de ambas técnicas, con el fin de proponer mejoras en los procesos de levantamiento topográfico para futuros proyectos de infraestructura urbana.

1.2 Justificación

El desarrollo de proyectos de infraestructura vial exige una alta precisión en la elaboración de la planimetría topográfica, dado que cualquier error en esta etapa puede comprometer la ejecución, costos y durabilidad de las obras. Tradicionalmente, la topografía ha sido realizada

mediante métodos convencionales que, aunque precisos, son en muchas ocasiones lentos y requieren una alta inversión en tiempo y recursos. Con el surgimiento de nuevas tecnologías, como los sistemas RPAS (drones) y las técnicas de fotogrametría, se han abierto oportunidades para optimizar estos procesos. Métodos como la fotointerpretación Point Cloud y el escalamiento de ortomosaicos presentan la promesa de proporcionar datos topográficos precisos de manera más e

En este contexto, es relevante evaluar si estas nuevas metodologías pueden no solo igualar, sino también superar en precisión y eficiencia a los métodos tradicionales. La aplicación de estas tecnologías en el proyecto de pavimentación de las vías urbanas del barrio El Progreso, en el municipio de Gualmatán, Nariño, brinda la oportunidad de comparar ambas técnicas. Este análisis permitirá establecer si el uso de RPAS y fotogrametría puede representar una alternativa

La justificación de esta investigación radica en la posibilidad de mejorar los procesos de levantamiento topográfico, reduciendo costos y tiempos de ejecución, sin sacrificar la precisión necesaria. Además, los resultados de esta comparación pueden sentar las bases para la adopción de nuevas tecnologías en proyectos de infraestructura vial en el país, contribuyendo a la modernización de los métodos de trabajo en el ámbito de la ingeniería civil.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Evaluar la viabilidad y precisión de la metodología de fotointerpretación Point Cloud y el escalamiento de ortomosaicos utilizando RPAS y técnicas de fotogrametría, en comparación con la topografía tradicional, para el desarrollo de la planimetría topográfica en el proyecto de pavimentación de las vías urbanas del barrio El Progreso, en el municipio de Gualmatán, Nariño.

Además, identificar las ventajas y limitaciones de ambas técnicas con el objetivo de optimizar los procesos de levantamiento topográfico en futuros proyectos de infraestructura vial.

1.3.2 Objetivos específicos

Llevar a cabo el levantamiento topográfico de las vías urbanas del barrio El Progreso utilizando los métodos convencionales de topografía, para obtener una base de comparación en términos de precisión, tiempos de ejecución y costos.

Desarrollar el levantamiento topográfico de las vías urbanas del barrio Progreso del municipio de Gualmatán, aplicando la metodología de fotointerpretación Point Cloud y el escalamiento de ortomosaicos con RPAS (drones).

Identificar y analizar las ventajas y desventajas de la fotointerpretación Point Cloud y escalamiento de ortomosaicos frente a la topografía tradicional.

Formular recomendaciones y mejoras que puedan aplicarse en futuros proyectos de infraestructura vial, en relación al uso de tecnologías RPAS y fotogrametría.

2. Marco referencial

Marco teórico

El uso de drones en topografía ha revolucionado la manera en que se realizan los levantamientos topográficos, ofreciendo mayor precisión, eficiencia y reducción de costos, topografía realizada por vehículos aéreos no tripulados (UAV) equipada con cámaras y sensores que permiten capturar imágenes y datos geoespaciales desde el aire.

"Los vehículos aéreos no tripulados, se destacan en la obtención de datos desde posiciones estratégicas inaccesibles para los humanos y la hora de realizar tareas topográficas en terrenos complicados, los drones eliminan la necesidad de acceder personalmente a lugares de difícil acceso o peligrosos para medirlos; Además, mientras que con los métodos tradicionales de topografía se necesita mucho tiempo para la planificación, preparación y obtención de mediciones, los drones ofrecen resultados similares en plazos mucho más cortos. Por ejemplo, STRABAG, una empresa líder de construcción con sede en Austria. calcula que el tiempo necesario para establecer GCP se reduce en un 75 % al utilizar drones para el reconocimiento topográfico" ("Todo lo que necesitas saber sobre topografía con drones", sf

El uso de la tecnología de drones en proyectos es un área de crecimiento impresionante que la podemos utilizar en obras civiles lineales como las vías; A medida que los drones se vuelven más disponibles, los reguladores están permitiendo gradualmente su uso a gran escala. Con soluciones de software capaces de explotar efectivamente los datos, la tecnología está comenzando a permear todo el ciclo de vida de los proyectos y se ha filtrado incluso en los proyectos de infraestructura más pequeños. (Rodríguez & Ramírez 2023)

En la topografía moderna, se utilizan diversas herramientas y tecnologías avanzadas para realizar levantamientos topográficos con mayor precisión y eficiencia, entre las más utilizadas podemos mencionar algunas de las más utilizadas actualmente:

- ✓ *Drones (UAVs):* Equipados con cámaras de alta resolución y sensores LIDAR, los drones permiten capturar imágenes aéreas detalladas y datos geoespaciales.
- ✓ *Estaciones Totales:* Instrumentos electrónicos que miden ángulos y distancias con alta precisión. Combinan un teodolito electrónico y un distanciómetro.
- ✓ *GPS y GNSS:* Sistemas de posicionamiento global (GPS) y sistemas globales de

navegación por satélite (GNSS) que proporcionan coordenadas precisas en tiempo real.

- ✓ *LIDAR* (Light Detection and Ranging): Tecnología que utiliza pulsos de luz láser para medir distancias y crear modelos tridimensionales del terreno.
- ✓ *Escáneres Láser 3D*: Dispositivos que capturan millones de puntos de datos para crear representaciones tridimensionales precisas de superficies y estructuras.
- ✓ *Niveles Digitales*: Instrumentos que miden diferencias de altura con gran precisión, utilizados en nivelación y construcción.
- ✓ *Fotogrametría*: Técnica que utiliza imágenes fotográficas para medir y mapear el terreno. Puede ser aérea (con drones) o terrestre.
- ✓ *Software de Procesamiento de Datos*: Programas como AutoCAD, GIS (Sistemas de Información Geográfica) y software de fotogrametría que permiten procesar y analizar los datos capturados.

Estas herramientas han transformado la topografía, haciendo los levantamientos más rápidos, precisos y accesibles; Dentro de este documento estas herramientas se presenta la aplicación del método de fotointerpretación de imágenes fotográficas las cuales se realiza mediante software de procesamiento de datos para obtener documentos digitales de contenido gráfico y de información planimétrica como altimétrica.

Teniendo en cuenta lo anterior, actualmente la fotogrametría con dron es una de las técnicas profesionales más novedosas en el campo de la ingeniería civil. Aprovechar los recursos tecnológicos de última generación supone, por norma general, ventajas significativas en cualquier campo de trabajo, si se aplican correctamente. El uso de drones es un ejemplo claro ya que han supuesto una auténtica revolución a distintos niveles. Podemos decir que La

fotogrametría es una técnica cuyo objetivo es obtener información precisa sobre el tamaño, volumen o proporciones de cualquier lugar u objeto físico y para hacerlo posible, se apoya en la obtención de imágenes de estas entidades desde múltiples perspectivas y el muestreo o medición de las mismas GeoDrone. (2024). Posteriormente, estos datos son procesados y contribuyen a generar un modelo digital del objeto estudiado, logrando obtener información precisa y detallada sobre el tamaño, la forma y las características de objetos o áreas geográficas mediante la captura de imágenes aéreas desde múltiples perspectivas, logrando obtener los siguientes objetivos:

- ✓ *Creación de Mapas y Modelos 3D:* Generar mapas topográficos y modelos tridimensionales del terreno con alta precisión.
- ✓ *Medición y Análisis:* Obtener datos exactos sobre distancias, áreas y volúmenes de objetos o superficies.
- ✓ *Monitoreo y Supervisión:* Realizar seguimiento de obras y cambios en los accidentes geográficos.
- ✓ *Acceso a Áreas Difíciles:* Capturar datos en zonas de difícil acceso o peligrosas para los topógrafos tradicionales.

La fotogrametría con drones combina la tecnología moderna con métodos tradicionales de mapeo, ofreciendo una herramienta poderosa y versátil para una amplia gama de aplicaciones.

Marco conceptual

Herramientas de Medición Tradicional

La medición de obras de forma tradicional es un proceso esencial en la construcción y la ingeniería civil, dentro de las herramientas más utilizadas en el área de la ingeniería civil tenemos las siguientes:

- ✓ *Estacas y Cuerdas:* Utilizadas para marcar puntos específicos en el terreno. Las estacas se clavan en el suelo y las cuerdas se utilizan para delinear áreas y establecer alineaciones.
- ✓ *Cinta Métrica:* Utilizada para medir distancias cortas y medianas con precisión.
- ✓ *Teodolito:* El teodolito es un instrumento que se utiliza para medir ángulos horizontales y verticales en topografía. El teodolito consta de un telescopio, un nivel de burbuja y un sistema de medición de ángulos. El teodolito se utiliza para medir ángulos horizontales y verticales en topografía, y se utiliza en combinación con otros equipos, como la mira graduada, para medir distancias.
- ✓ *Estación Total:* La estación total es un equipo que combina un teodolito (instrumento que se utiliza para medir ángulos horizontales y verticales) y un distanciómetro (instrumento que se utiliza para medir distancias). Con la estación total, se pueden medir tanto ángulos como distancias, lo que permite obtener coordenadas tridimensionales de los puntos de interés en el terreno.
- ✓ *GPS.* El GPS es un sistema de posicionamiento global que utiliza satélites para determinar la ubicación exacta de un objeto en la Tierra. En topografía, el GPS se utiliza para obtener coordenadas geográficas precisas de los puntos de interés. El GPS se utiliza en combinación con otros equipos, como la estación total, para obtener mediciones

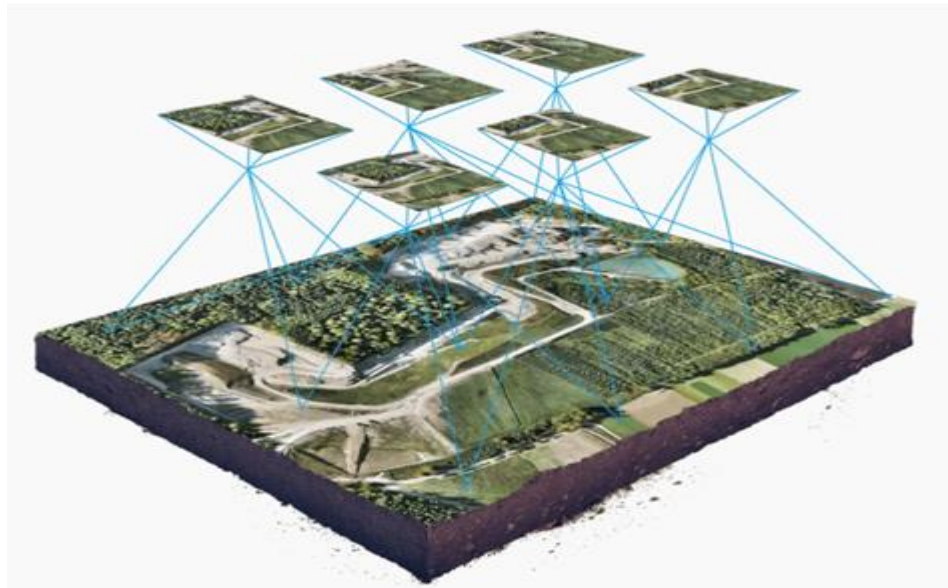
precisas de ángulos y distancias.

Estos métodos tradicionales requieren habilidades manuales y experiencia para obtener mediciones precisas. Aunque las tecnologías modernas han mejorado la eficiencia y precisión, los métodos tradicionales siguen siendo fundamentales en muchas situaciones.

Medición aérea con drones

Las herramientas de medición aérea con drones han transformado la topografía y otras disciplinas relacionadas. Un levantamiento topográfico con drones se refiere al uso de un dron, o vehículo aéreo no tripulado (VANT), para capturar datos aéreos con sensores orientados hacia abajo, como cámaras RGB o multiespectrales y sensores LIDAR. Durante un levantamiento topográfico con drones con una cámara RGB, el suelo se fotografía varias veces desde diferentes ángulos y cada imagen se referencia con coordenadas, logrando obtener la fotogrametría que combina imágenes que contienen el mismo punto en el suelo desde múltiples puntos de vista para producir mapas detallados en 2D y 3D.

A partir de estos datos, para el presente proceso se utilizará el software pix4Dmapper, aplicación de procesamiento de datos de imágenes digitales tomadas en campo por un dron con cámaras especializadas para toma de fotos aéreas, con los cuales se logra crear ortomosaicos georeferenciados, modelos de elevación o modelos 3D del área del proyecto, planimetría y altimetría. Este modelo también se puede utilizar para extraer información como distancias de alta precisión o mediciones volumétricas.

Figura 1 *Procesamiento de Imágenes*

Tomado de: 2024 Georus ingeniería y soluciones

A partir de las fotografías aéreas tomadas con el dron, para el proceso de datos digitales existen programas de software especializados en topografía que se utilizan para procesar y analizar los datos obtenidos con estos equipos aéreos. Estos programas permiten generar mapas topográficos, perfiles altimétricos, curvas de nivel, entre otros. Algunos de los programas de software para procesamiento de datos para generar datos de topografía más comunes son Pix4dmapper, Recap photo, ArcGIS Pro, Global Mapper y QGIS.

PIX4Dmapper

Luego de obtener el activo digital gráfico, dentro del diplomado se utilizó el software PIX4Dmapper, el cual es un software de fotogrametría de última generación, está diseñado para trabajar con la última generación de drones y transformar su gran número de imágenes en nubes de puntos, MDS y ortomosaicos; Pix4D es un software de procesamiento de imágenes, que son obtenidas producto del mapeo con drones y dispositivos móviles. A través

del uso de algoritmos de última generación y avanzadas técnicas de procesamiento fotogramétrico genera nubes de puntos, modelos digitales de superficie y ortomosaicos de muy alto detalle que son utilizados en el campo de la fotogrametría. También cuenta con una línea de dispositivos de captura de datos, entre los cuales se incluyen cámaras y sensores que complementan al software.

Pix4D es una opción sumamente completa y transversal a todas las industrias en el mercado que requieran de data e información de muy alto detalle y precisión (UAV 2022)

RECAP PHOTO

Después de realizar los procesos inherentes del software PIX4Dmapper, se utilizó el programa de Recap photo, el cual es una aplicación conectada a la nube con funciones avanzadas para generar mallas con textura, nubes de puntos y fotos ortogonales (ortofoto y ortomosaicos) de ubicación geográfica (Autodesk Support 2023). También cuenta con potentes herramientas para la visualización y edición de mallas con los datos obtenidos a partir del trabajo de UAV y drones, activos que son de gran utilidad para el sector de arquitectura, ingeniería y *construcción*.

CAD

Con los datos obtenidos con las anteriores aplicaciones, se exporta los datos obtenidos al software para procesar datos digitales y gráficos para posteriormente realizar la materialización de los planos o trabajo grafico de topografía mediante AutoCAD, el cual es un software de diseño asistido por computadora (CAD) que se utiliza para dibujar, diseñar y

modelar en 2D y 3D de forma precisa con sólidos, superficies, objetos de malla, características de documentación, etc.

Incluye características para automatizar tareas y aumentar la productividad, como la comparación de dibujos, el recuento, la adición de objetos y la creación de tablas. AutoCAD permite a los usuarios crear, editar y anotar dibujos mediante computadoras de escritorio, la web y dispositivos móviles. (AutoCAD, n.)

Otras herramientas de procesamiento de datos como ArcGIS Pro utilizan los datos de las fotografías aéreas procesadas (Ortomosaicos u ortofotos) con PIX4Dmapper.

ARCGIS

ArcGIS Pro es la aplicación SIG de escritorio profesional con plenas funcionalidades de Esri, con ArcGIS Pro, puede explorar, visualizar y analizar datos, crear mapas 2D y escenas 3D, la aplicación proporciona poderosas herramientas para gestionar y analizar imágenes de drones, satélites, aéreas, videos y más (Esri España).

Adicionalmente se trabajó el software GlobalMapper con la información de Ortomosaicos u ortofotos procesadas con PIX4Dmapper.

GLOBALMAPPER

La aplicación permite Analizar y convertir DEMs, imágenes, datos SIG, LiDAR, KML y GeoPDFs fácilmente, ya que combina una gama completa de herramientas de tratamiento de datos espaciales con acceso a una variedad sin precedentes de formatos de datos. Desarrollado tanto para profesionales SIG como para iniciados, este software versátil es

también idóneo como herramienta independiente de gestión de datos SIG, o como complemento a un SIG existente.

GlobalMapper incluye la posibilidad de acceder directamente a varias fuentes en línea de imágenes, mapas topográficos, y los datos DEM/DSM. Con datos importados elevación Global Mapper puede generar vistas perspectivas en 3D, sombreados personalizados, análisis de cuencas, cuencas visuales y línea de vista, además de la generación de curvas de nivel personalizadas (Geosoluciones).

Al igual posterior al procesamiento de datos de las dos últimas aplicaciones finalmente se realiza el proceso de análisis y materialización de los planos topográficos mediante el software AutoCAD que permite crear dibujos en 2D y 3D.

DEM

Un modelo digital de elevación (DEM) son datos ráster en cuadrícula y una representación tridimensional de un terreno, que filtra y excluye las características vectoriales del terreno (es decir, arroyos, líneas de ruptura y crestas) y todos los objetos del suelo, tanto contruidos (líneas eléctricas, edificios y torres) como naturales (árboles y otros tipos de vegetación).

Se trata básicamente del superconjunto de DSM y DTM. En la mayoría de los casos se puede utilizar un término genérico como DEM porque la diferenciación entre la tierra desnuda y un objeto de superficie no es significativa, y los DEM suelen tener resoluciones espaciales de 20 m o más.

Los DEM se pueden generar a partir de datos captados remotamente y recopilados por satélites, drones y aviones, y comúnmente mediante escaneo láser (LiDAR), topografía geodésica o interferometría de radar (InSAR). (PlexEarth, 2023)

DTM

Un modelo digital del terreno (DTM) es una representación tridimensional de un terreno o una topografía superficial, en tierra desnuda, que consta de una serie de puntos con una altura definida e incluye características como ríos, crestas y líneas de quiebre. Este modelo carece de los objetos naturales o artificiales ubicados en la superficie de la Tierra, como la vegetación y los edificios.

Un DTM representa un conjunto de puntos 2D con valores de altura específicos para aproximar una parte o la totalidad de una superficie de terreno continua, siendo los valores de altura una aproximación de las distancias verticales entre los puntos del terreno y alguna superficie de referencia o datum geodésico.

También vale la pena señalar que en algunos países y campos de investigación, los DTM se consideran conjuntos de datos vectoriales y modelos digitales de elevación aumentados con características lineales del terreno desnudo (es decir, líneas de ruptura, crestas, etc.).

El procesamiento fotogramétrico de imágenes estereoscópicas aéreas y espaciales se utiliza habitualmente para crear DTM. Los DTM pueden incluso crearse a partir de DSM utilizando la diferencia entre los valores de altura de los árboles y los edificios y su entorno local. (PlexEarth, 2023)

DSM

Un modelo digital de superficie (DSM) es una representación tridimensional de las alturas de la superficie de la Tierra, incluidos los objetos naturales o artificiales que se encuentran sobre ella. Representa las elevaciones medias del nivel del mar de las superficies reflectantes de la vegetación, los edificios y otras características elevadas por encima de la tierra desnuda. Por lo general, se considera un modelo de un dosel sobre la superficie de la tierra desnuda.

Debido a que los DSM representan la tierra desnuda y todas sus características sobre la superficie, son particularmente importantes en la planificación urbana. Los modelos de superficie 3D pueden ayudar a analizar escenarios urbanos complejos, especialmente a medida que las regiones edificadas cambian con el tiempo debido a la expansión urbana. Los DSM se pueden obtener a partir de imágenes satelitales estereoscópicas, fotografías aéreas digitales estereoscópicas con diferentes resoluciones y tecnología LiDAR (Light Detection and Ranging). (PlexEarth, 2023)

LIDAR

LIDAR es una tecnología de detección remota que mide la elevación cronometrando un impulso de energía lumínica (un pulso láser) mientras viaja hasta el suelo y se refleja de vuelta en un sensor. El sistema se suele montar en una aeronave, pero también puede estar en el suelo. El GPS se usa para determinar las coordenadas horizontales de las mediciones de elevación. Un sistema de navegación inercial introduce correcciones para los cambios en la orientación del avión con respecto al suelo.

Los sistemas LIDAR capturan un número enorme de mediciones (denominadas nubes de puntos) a partir de las cuales se pueden generar modelos de elevación detallados. Un pulso

láser puede devolver varias mediciones si atraviesa objetos parcialmente densos, por ejemplo, vegetación, en su camino hacia el suelo. Estos retornos se pueden clasificar en tipos de objetos con el software de post-procesamiento. Por tanto, LIDAR puede producir modelos de elevación del terreno y modelos de superficie que muestren árboles, edificios y carreteras. (Esri, n.d.)

Ortomosaico

Un ortomosaico es un tipo de mapa compuesto por varias imágenes aéreas georreferenciadas, conocidas como ortofotos, que han sido unidas y corregidas geométricamente para eliminar distorsiones. Estas imágenes se ajustan como si fueran piezas de un rompecabezas, creando una representación precisa y detallada de un área específica.

Los ortomosaicos son herramientas valiosas en diversos campos como la ingeniería, la topografía, la agricultura y la minería, ya que permiten realizar mediciones precisas, inspecciones visuales y monitoreo de proyectos.

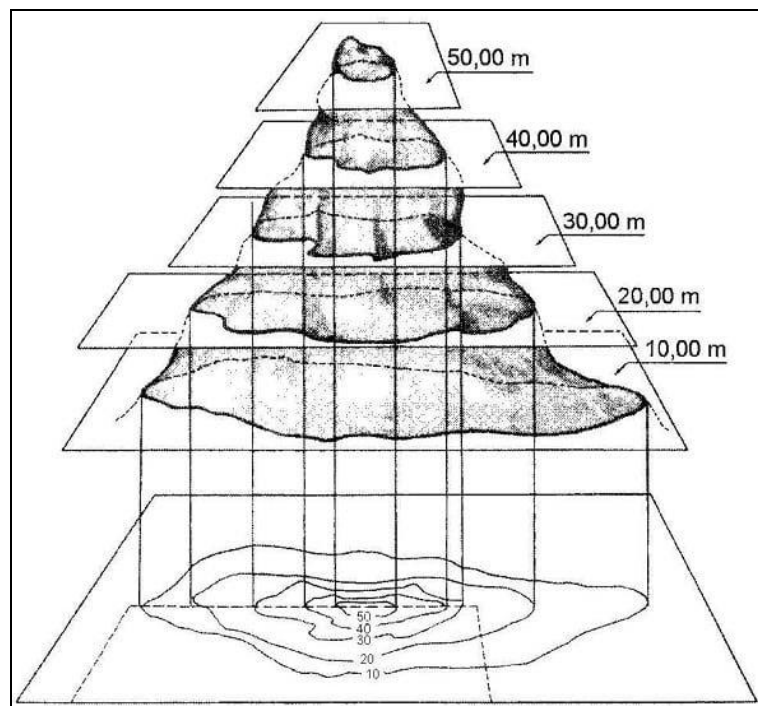
Ortofoto

Una ortofoto es una imagen fotográfica de la superficie terrestre que ha sido corregida geométricamente para eliminar distorsiones causadas por la perspectiva de la cámara y las variaciones del terreno. Este proceso de corrección se llama ortorrectificación. Como resultado, una ortofoto combina el detalle visual de una fotografía aérea con la precisión geométrica de un mapa, permitiendo realizar mediciones exactas. Las ortofotos se utilizan en diversas disciplinas como la geología, la cartografía, la arquitectura y la arqueología.

Curvas de nivel

Las curvas de nivel son líneas imaginarias que se utilizan para representar la topografía de un terreno en un mapa. Estas líneas conectan puntos de igual altitud, permitiendo visualizar las variaciones en la elevación de un área geográfica. En otras palabras, las curvas de nivel son una forma de representar la forma del terreno en un mapa.

Figura 2 *Curvas de Nivel*



Tomado de: APU 2011 Mapa Topografico

Cada uno de los planos que corta el terreno forma una figura plana que recibe el nombre de curva de nivel, también llamada isohipsa. La distancia entre cada una de las curvas de nivel se conoce con el nombre de equidistancia; En un mapa topográfico, las curvas de nivel se utilizan para identificar la forma del terreno, calcular pendientes y planificar

construcciones. La distancia vertical entre dos curvas de nivel consecutivas se llama equidistancia, y es constante para un mapa dado.

RPAS

Son las siglas de Remotely Piloted Aircraft System (Sistema de Aeronaves Pilotadas a Distancia). Este término se refiere a un sistema completo que incluye no solo la aeronave no tripulada, sino también el enlace de comunicaciones y la estación en tierra desde donde se controla la aeronave. En otras palabras, un RPAS abarca tanto el dron como todos los componentes necesarios para su operación segura y eficiente (RPAS, UAS y UAV

Fotogrametría

Ciencia y técnica de obtener información métrica sobre objetos o superficies terrestres a partir de fotografías, especialmente aéreas. Con la fotogrametría, es posible crear modelos 3D del terreno, calcular áreas y volúmenes, y obtener datos precisos sobre el terreno (Wolf & Dewitt, 2000).

Planimetría fotográfica

La planimetría en topografía se refiere a la representación gráfica de la forma de la superficie terrestre, utilizando un sistema de coordenadas que combina la latitud y la longitud. Esta representación gráfica se logra a través de la medición de la elevación y la forma de la superficie terrestre, utilizando técnicas como la triangulación y la trilateración. La planimetría en topografía se utiliza para crear mapas topográficos, que son mapas que representan la forma y la estructura de la superficie terrestre (Mia Miñan, 2010).

Escalamiento de ortomosaicos

El escalamiento de ortomosaicos se refiere al proceso de ajustar y corregir las imágenes aéreas para que representen con precisión las dimensiones y posiciones geográficas reales de los objetos en el terreno. Este proceso implica la eliminación de distorsiones causadas por la inclinación de la cámara y la topografía del terreno, asegurando que las medidas obtenidas del ortomosaico sean precisas y fiables. El escalamiento de ortomosaicos es crucial para la generación de productos cartográficos de alta precisión, especialmente cuando se utilizan sistemas UAV (vehículos aéreos no tripulados) para la captura de imágenes (Revista Tecnura 2016).

Google Earth Pro

Google Earth Pro 2024 es una versión avanzada y gratuita de Google Earth, diseñada para usuarios profesionales y empresas que necesitan herramientas geoespaciales más sofisticadas.

Algunas de sus características destacadas incluyen:

- ✓ *Medición precisa de áreas y distancias:* Permite calcular áreas y perímetros con alta precisión.
- ✓ *Importación y exportación de datos GIS:* Facilita el manejo de datos de Sistemas de Información Geográfica (GIS) para superponer capas personalizadas en el mapa.
- ✓ *Acceso a imágenes históricas:* Proporciona la capacidad de ver y analizar cambios en el paisaje a lo largo del tiempo.
- ✓ *Grabación de recorridos y animaciones:* Permite crear presentaciones y recorridos virtuales detallados.

Estas funcionalidades hacen que Google Earth Pro sea una herramienta valiosa para sectores como la planificación urbana, la gestión de recursos naturales, la investigación científica y muchas otras aplicaciones profesionales. (Google, 2024).

Concoord

Es un programa de conversión y transformación de coordenadas, que ayuda a las personas que requieran realizar todo tipo de conversión y transformación de coordenadas del antiguo sistema de referencia "Internacional Bogotá" al nuevo sistema de referencia "Magna-Sirgas" establecido por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. El programa fue desarrollado por completo en JAVA, y está cubierto por la licencia publica general, GPL de la free software foundation, esto quiere decir que la persona que desee estudiar y modificar el código fuente, puede solicitar una copia, para sus mejoras. (CONCOORD - Conversión y Transformación Coordenadas, 2016).

Marco legal

Normativa Específica:

En Colombia, la regulación de los UAV (Vehículos Aéreos No Tripulados) o drones está establecida principalmente por la Aeronáutica Civil (Aerocivil) bajo el RAC 91. (Grupo Estructura Normativa y Estándares 2024)

Mediante la Resolución No. 04201 del 28 de diciembre de 2018 establece las normas específicas para la operación de drones en Colombia. Desde 2023, se ha adoptado el RAC 100

mediante la Resolución número 01983, que actualiza y detalla lo que se puede y no se puede hacer con un dron en el país (Grupo Estructura Normativa y Estándares 2024) .

En Colombia existe una regulación para los drones llamada RAC 100 adoptado mediante Resolución número 01983 del 27 de septiembre 2023, que decreta lo que se puede y no puede hacer con un dron. La Aeronáutica civil de Colombia publica la actualización a la regulación anterior RAC 91, apéndice 13, por lo que algunos requisitos para solicitar la licencia para volar drones en Colombia han cambiado.

Figura 3 Normativa de Drones en Colombia



NORMATIVA DE DRONES EN COLOMBIA

Con corte a agosto la Aerocivil tenía inscritas **900 empresas** de drones con **1.900 operadores** que tienen **1.800 equipos**

Para volar un dron se deben establecer los siguientes parámetros:

- 1 Establecer el riesgo de la operación que se realizará
- 2 Las operaciones de carácter recreativo se entienden de Clase A
- 3 El uso de equipos en actividades comerciales o profesionales sin importar su peso se entiende como Clase B
- 4 Las operaciones de transporte de mercancías o personas y/o experimentales se entienden Clase C
- 5 Realizar la inscripción ante la Aerocivil en la clase respectiva

Actualmente la operación de Drones (UAS) en Colombia se rige por el Apéndice 13 del RAC 91 "Operación de sistemas de aeronaves no tripuladas- UAS"

REQUISITOS PARA LA INSCRIPCIÓN DE DRONES

- Nombre completo de la persona natural o razón social de la persona jurídica
- Número del documento de identificación (CC, RUT o NIT)
- Dirección de notificación (domicilio o residencia)
- Dirección de correo electrónico
- Números de teléfono de contacto
- Marca, modelo y número de serie de cada UAS

PROHIBICIONES

- Los drones no pueden sobrevolar reuniones de personas al aire libre
- Solo pueden tener operaciones diurnas. Podrán operarse por la noche, siempre y cuando sean lugares deshabitados
- Los drones clase A (recreativos) no pueden ir más allá de 500 metros
- Los drones clase B (comerciales) no pueden ir más allá de 750 metros
- Los drones no pueden sobrevolar edificios públicos o estar cerca de aeropuertos

Tomado de: 2024, Editorial La República S.A.S.

Clasificación de drones.

Clase A: Drones para uso recreativo, con un peso entre 250 gramos y 25 kilogramos.

No requieren autorización para cada vuelo, pero sí deben estar registrados ante la Aerocivil.

Clase B: Drones para uso comercial o profesional, con un peso de hasta 150 kilogramos. Estos drones también deben estar registrados y pueden requerir autorizaciones específicas para ciertos tipos de operaciones.

Requisitos de operación.

Registro: Todos los drones deben estar registrados ante la Aerocivil.

Certificación: Los operadores deben obtener una certificación que acredite sus conocimientos y habilidades para volar drones de manera segura.

Restricciones de Vuelo: No se permite volar sobre áreas congestionadas, edificaciones o aglomeraciones de personas. Además, las operaciones deben realizarse preferentemente en horas diurnas.

Licencia para volar drones en Colombia.

Esto hay que hacer antes de solicitar una licencia para volar drones en Colombia.

Para tener una licencia para volar drones en Colombia, primero se debe cumplir con ciertos requisitos, como haber aprobado un curso básico o profesional de vuelo de drones. Esto tiene que ver con el uso que quieras darle al dron, si se usa para fines más recreativos no necesita tener una licencia o certificado, pero el dron sí debe estar inscrito ante la AEROCIVIL.

Sí el dron se necesita para fines comerciales, debe estar certificado con un curso de vuelo de dron y estar inscrito en la categoría correspondiente.

Requisitos:

Inscribir el dron en la base de datos de la aeronáutica:

Si el dron se utilizara con fines recreativos no requiere certificación, pero sí debe cumplir los requisitos establecidos por la categoría abierta, entre ellos hacer el registro del dispositivo en la base de datos de la Aeronáutica civil colombiana.

Si el dron se utilizará para toma de registro fotográfico aéreo y luego vender esas fotografías, debes tener en cuenta que esta actividad ya se considera dentro de la categoría específica, por lo que se debe cumplir con los requisitos establecidos en la RAC 100, entre ellos solicitar licencia para volar drones en Colombia.

Expedir seguro para drones:

Es indispensable que se adquiriera un seguro de drones, en caso de que se utilizara para lucro, en eventos donde haya flujo de personas y edificaciones, es importante que se cuente con el seguro o póliza de garantía. No obstante, si se utilizará de forma recreativa, deberías contar con este documento o requisito como recomendación, ya que con estas aeronaves remotamente tripuladas cualquier cosa puede pasar y no se está exento de un accidente que involucre a terceros.

Contar con título de piloto de drones:

Es uno de los requisitos para volar un drone, si su fin es prestar un servicio que genere algún incentivo económico, se debe registrar en la categoría específica y hacer un curso para volar drones en Colombia, y con esto se adquiriera todos los conocimientos necesarios para

volar un dron de forma segura. La ley no exime de la responsabilidad, no importa si solo se va a volar un dron por diversión, se debe hacer bajo las normas establecidas por la Aeronáutica Civil.

La entidad en Colombia que regula esta normativa es la Aerocivil colombiana, que además es a quien se le debe solicitar la licencia para volar drones en Colombia, esta regulación es aplicable para toda la población civil o empresas que quieran volar un dron, esta no aplica para operaciones gubernamentales.

Recomendaciones legales para vuelo de drones:

No puedes volar un dron a más de 122 metros de altura, y tampoco a más de 500 metros de distancia de quien lo está pilotando, siempre se debe tener a la vista el dron que se está operando, esta es una regla general de vuelo de drones en Colombia.

Dependiendo del peso del dron y de la actividad que vas a realizar, probablemente necesitarás o no licencia para volar drones en Colombia. Los drones que pesan menos de 200 gramos, al no considerarse peligroso, pueden utilizarse sin licencia, a partir de este peso si la necesitarás.

Los drones sin licencia como el DJI, MAVIC, MINI 2 que pesan 249 gramos, ya no se ajustan debajo del límite que estipula la regulación, usualmente son de uso recreativo, incluido también en la categoría Abierta, con la actualización de la norma estos drones deberán ser registrados ante la base de datos de la AEROCIVIL y estar inscritos dentro de la categoría abierta.

Existen varios riesgos de volar un dron sin certificación, para evitarlos te recomendamos conocer muy bien la reglamentación, esto con el fin de evitar una sanción por mal manejo de los drones o simple desconocimiento.

3. Enfoque - etapas y tareas

Para alcanzar los objetivos planteados, se desarrolló una metodología estructurada en cinco fases. La primera fase consistió en la recolección de información preexistente y en la obtención de levantamientos topográficos tradicionales ya disponibles. La segunda fase incluyó la planificación y ejecución del vuelo sobre la zona del barrio El Progreso, en el municipio de Gualmatán, Nariño, con el objetivo de realizar un levantamiento topográfico utilizando un dron; esta fase se conoce como la fase de campo. En la tercera fase, se dio inicio al proceso en el software PIX4D. La fase cuarta consistió en la fotointerpretación de la nube de puntos y el escalamiento del ortomosaico mediante el uso de RPAS y la fotogrametría. Finalmente, en la quinta fase se realizó un análisis y comparación entre los resultados obtenidos mediante métodos tradicionales y los generados por el dron, lo que permitió la formulación de las conclusiones del estudio.

3.1. Fase 1. Recolección de información preexistente

En esta fase, se recopila y analiza información previamente existente que es relevante para el desarrollo del proyecto. Para ello se obtuvo, el levantamiento del plan métrico tradicional, junto con un informe técnico detallado que abarca las diferentes necesidades y actividades desarrolladas en el barrio Progreso, ubicado en el municipio de Gualmatán.

El levantamiento topográfico de la zona y del lote correspondiente fue fundamental para el reconocimiento adecuado del terreno. Éste consistió en el reconocimiento del terreno y la

realización del levantamiento topográfico de la zona correspondiente al lote de interés. Para llevar a cabo este levantamiento, se emplearon tecnologías de geoposicionamiento multifrecuencial. Se utilizaron dos receptores GPS de alta precisión, específicamente los modelos LP1 y LP2 de la marca TOPCON, referencia HIPER II, con una precisión de 3 mm y capacidad de almacenamiento.

Una vez obtenidos los datos en campo, se continúa con el procesamiento de la información. Para el post-proceso, se utiliza como referencia la longitud de antena permanente de la estación ECO-PASTO. En este proceso, los datos obtenidos con los GPS-1 y GPS-2 arrojaron una longitud aproximada de 46 lm, lo cual permitió ajustar la información levantada y obtener resultados más precisos para el desarrollo del proyecto.

Figura 4 *Placas materializadas en el sector de estudio*



Tomado de: Montaño, 2022. Informe de levantamiento topográfico

3.2. Fase 2. Trabajo de Campo y Equipo Utilizado

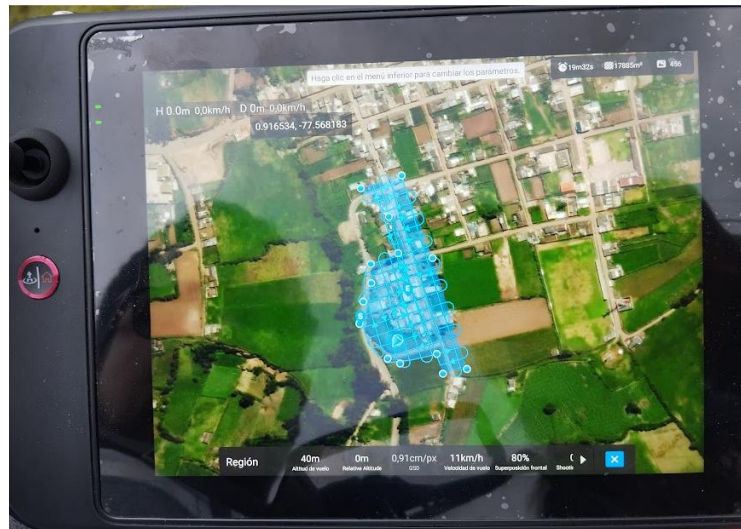
Para la obtención de la muestra fotogramétrica se utilizó el siguiente equipo: Autel Robotics Paquete resistente EVO II Pro RTK V3, el cual no requiere GCP tiene Controlador inteligente Autel V3, tiempo de Vuelo de 38 minutos, Sensor CMOS de 1 pulgada, Evitación de obstáculos de 360°.

EVO II Pro V3 Rugged Bundle, integra un módulo RTK completamente nuevo para 2023, que proporciona datos de posicionamiento de nivel centimétrico en tiempo real en tres minutos y es compatible con Post-Processing Kinematic (PPK). La aeronave registra los datos de observación satelital originales, los parámetros de exposición de la cámara y más. El sistema de posicionamiento es compatible con la estación base RTK y la red NTRIP RTK, lo que ayuda a lograr una adquisición de datos precisa y estable en entornos operativos complejos.

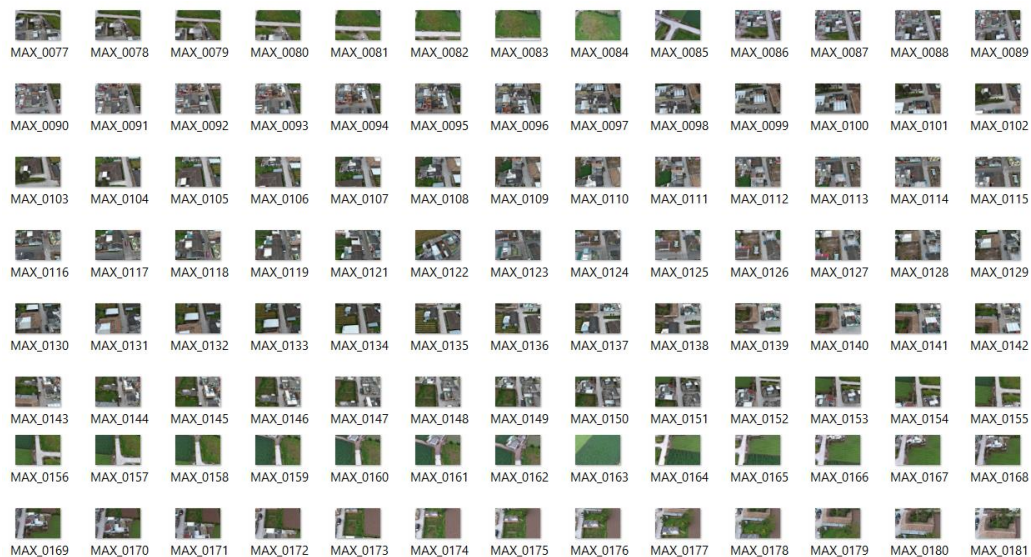
Una vez identificada la herramienta de vuelo adecuada para la operación, se procede con la planificación detallada del plan de vuelo, teniendo en cuenta las características del área de estudio, los objetivos del proyecto y las condiciones ambientales. Este plan incluye la definición de las rutas de vuelo, la altitud, los parámetros de captura de imágenes y los puntos de control necesarios para garantizar la precisión de los datos.

Figura 5 *Vuelo Dron EVO II Pro RTK V3*



Figura 6 *Plan de vuelo*

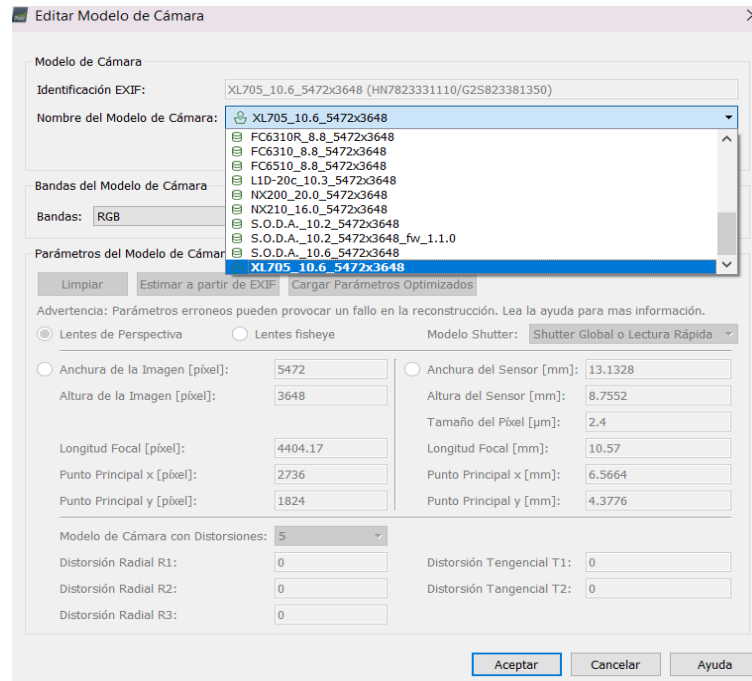
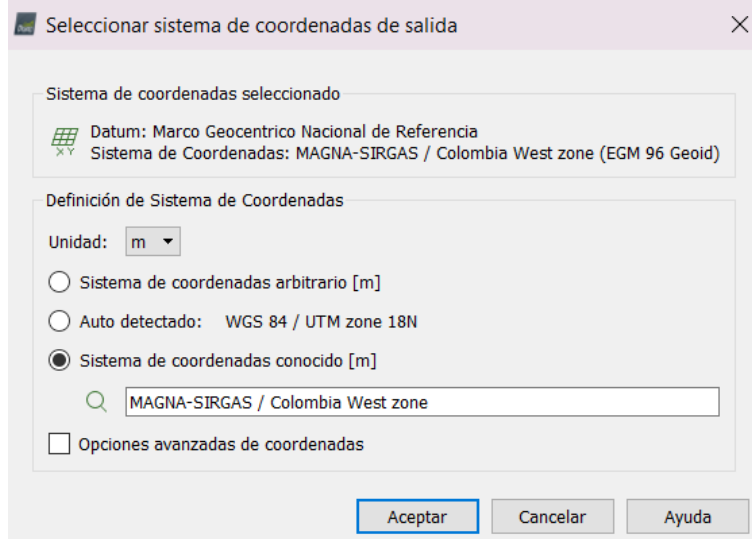
Posteriormente, en campo, se lleva a cabo la recolección de 446 muestras fotogramétricas mediante el uso del dron mencionado anteriormente, siguiendo las rutas preestablecidas en el plan de vuelo. Durante esta fase, se verificaron las condiciones de visibilidad, clima y otros factores que puedan afectar la calidad.

Figura 7 *Imágenes depuradas capturadas en el vuelo*

Una vez finalizada la etapa de campo, se continúa con el procesamiento de las imágenes utilizando diversos softwares y herramientas tecnológicas especializadas en fotogrametría y SIG (Sistemas de Información Geográfica). Estos programas permitieron realizar el procesamiento, análisis y modelado de los datos, logrando así obtener un levantamiento detallado y preciso del barrio El Progreso del municipio de Gualmatán, con el cual se generaron productos finales como ortomosaicos, modelos digitales de elevación y mapas.

3.3 Fase 3. Procesamiento de datos Pix 4D mapper

Tras la revisión y selección de las fotografías capturadas para su posterior procesamiento, se procede a dar inicio al proceso en el software PIX 4D. En primera instancia, se establece un nuevo proyecto, en el cual se importan las imágenes seleccionadas. En esta fase inicial es crucial la selección precisa de la cámara utilizada con el dron, así como la determinación del sistema de coordenadas. Es relevante mencionar que, en este caso, se configura el proceso utilizando el sistema de coordenadas MAGNA SIRGAS en la zona oeste de Colombia, asegurando la correcta georreferenciación de los datos obtenidos.

Figura 8 Selección modelo de cámara**Figura 9** Configuración sistema de coordenadas

Una vez cargada la información, se procede a configurar las opciones de procesamiento con el objetivo de obtener los datos requeridos para la generación de un ortomosaico, modelo digital de superficie (MDS), nube de puntos y malla en 3D. Es fundamental establecer una

resolución adecuada durante este proceso, garantizando la calidad y precisión necesarias para su posterior utilización en las distintas etapas del trabajo.

Tras completar la configuración inicial, se procede con el procesamiento de la nube de puntos y la malla texturizada, ajustándolos a las especificaciones establecidas por el caso de estudio. Con el fin de asegurar la exactitud de la información obtenida, se lleva a cabo la georreferenciación de los puntos mediante la utilización de los puntos de control previamente establecidos en el terreno. Para ello, se recurre a una antena RTK, la cual permite una precisa y detallada ubicación de los puntos, garantizando la fiabilidad y precisión de los datos generados.

Figura 10 *Ubicación en campo de puntos de control*



Figura 11 Ingreso de puntos de control tomados en mapo en Pix 4D mapper

Gestor GCP/MTP

Sistema de coordenadas de los puntos de apoyo

Datum: Marco Geocentrico Nacional de Referencia; Sistema de Coordenadas: MAGNA-SIRGAS / Colombia Bogota zone (EGM 96 Geoid) Editar...

Tabla GCP/MTP

	Etiqueta	Tipo	X [m]	Y [m]	Z [m]	Precisión Horz [m]	Precisión Vert [m]
0	PC 1	Punto de co...	945385.228	593309.854	2900.133		
0	PC 2	Punto de co...	945403.834	593229.568	2898.195		
0	PC 3	Punto de co...	945356.355	593150.855	2891.195		
0	PC 4	Punto de co...	945454.897	593085.590	2894.237		

Importar puntos de apoyo...
Exportar puntos de apoyo...
Añadir punto
Eliminar puntos

Editar puntos. Utilice el botón derecho del ratón en la tabla para eliminar o editar puntos.

Editor GCP/MTP

Para calcular la posición 3D de un punto de apoyo/punto de paso, el punto debe ser marcado en al menos dos imágenes.
Para tener en cuenta los puntos de apoyo para georeferenciar el proyecto, al menos 3 puntos de apoyo deben ser marcados.
Marcar puntos de apoyo/puntos de paso después del paso "1. Procesamiento inicial" requiere que el usuario ejecute Proceso > Reoptimizar.
La precisión de los puntos de apoyo / puntos de paso se puede verificar en el Informe de Calidad o en el editor rayCloud.

(Recomendado) Utilice el rayCloud después de que el paso 1. Procesamiento inicial se haya procesado. Esto permite marcar los puntos de manera rápida y precisa.

Utilice el editor básico bien
1) antes de correr el paso 1. Procesamiento inicial, o
2) cuando se usen imágenes no geolocalizadas, o
3) cuando se use un sistema de coordenadas arbitrario.

Editor rayCloud... Editor básico...

Aceptar Cancelar Ayuda

Ingresados los puntos de control en el programa, se procede con el emparejamiento de dichos puntos en las ubicaciones particulares donde fueron establecidos en campo. Este proceso permite sincronizar de manera precisa la información obtenida en el terreno con los datos generados a partir del procesamiento en el programa, asegurando la coherencia y exactitud de los resultados.

Figura 12 *Puntos de control y emparejamiento*

Siguiendo estos pasos, se reoptimiza el proyecto y se produce tanto la nube de puntos como el modelo digital de superficie. La malla texturizada en 3D ofrece información detallada que facilita la visualización y dimensionamiento de los elementos presentes en el área mapeada.

Pix4D Mapper brinda la capacidad de establecer parámetros para la generación del MDS, ortomosaico e índices, así como la generación opcional de curvas de nivel conforme a los requisitos específicos.

Una vez completado el proceso, se visualiza la nube de puntos, mientras que el software genera automáticamente un informe exhaustivo con los detalles y características del proyecto, incluyendo los resultados de cada etapa de procesamiento, lo que facilita la identificación de las imágenes procesadas, las características de cada proceso, así como los errores o inconsistencias en la integración de la información.

Figura 13 *Nube de puntos Pix 4D mapper*



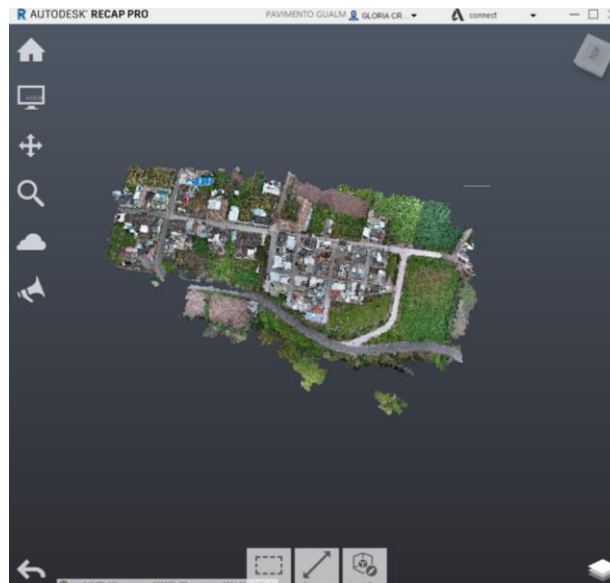
3.4 Fase 4. Fotointerpretación Point cloud y escalamiento de ortomosaico con el uso de RPAS y la Fotogrametría

3.4.1. Edición de ortofoto en Recap Pro

El método de fotointerpretación en AutoCAD con Point cloud y escalamiento de ortomosaico creado por el Arq. Robert Gutierrez, inicia desde el Uso del software Recap Pro. Para la visualización y fotointerpretación posterior de la ortofoto y la nube de puntos generada en Pix4D mapper, se realiza un proceso de depuración de la nube de puntos utilizando el software Recap Pro. Este proceso incluye la eliminación de elementos no deseados y ruidos, permitiendo una mejor definición y claridad de los datos. Adicionalmente, se lleva a cabo una iluminación de los contornos para resaltar las características relevantes de la escena, y densificación de la nube de

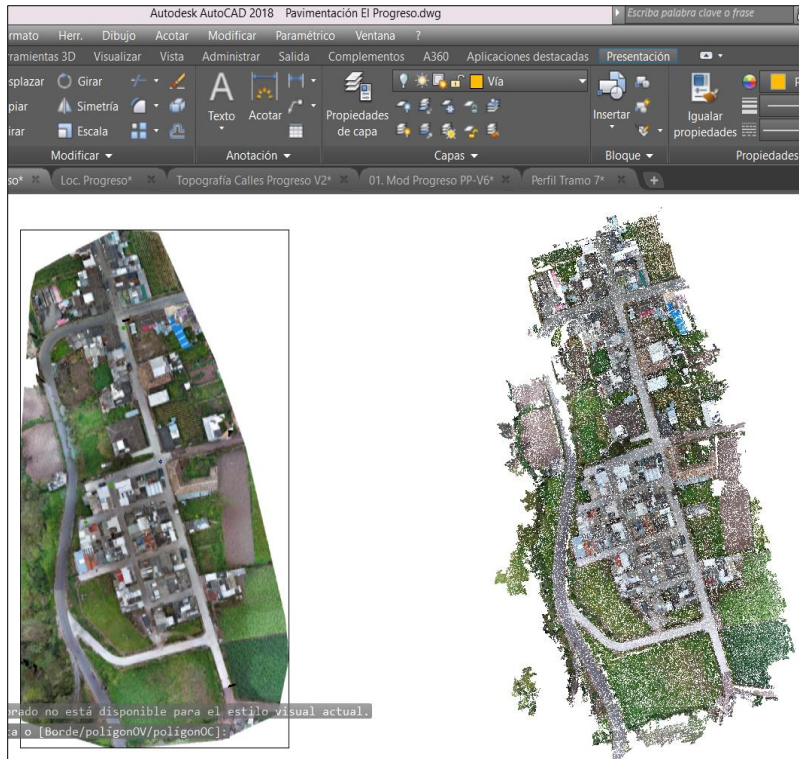
puntos, con el fin de mejorar la precisión y el nivel de detalle en la representación tridimensional del área estudiada.

Figura 14 *Densificación de nube de puntos*



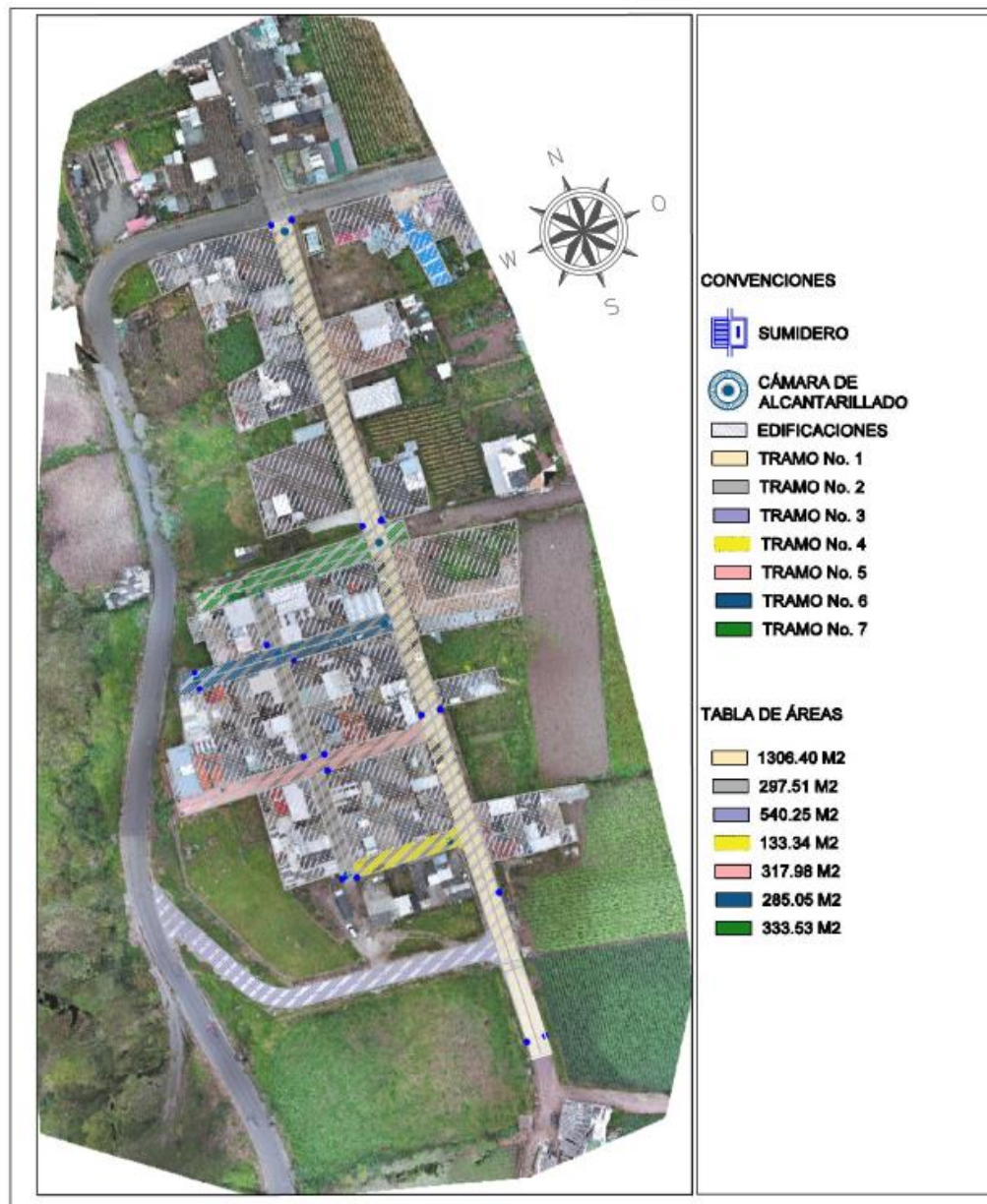
3.4.2 Fotointerpretación y Planimetría en AutoCAD con Georreferenciación y puntos de control

Empleando la metodología desarrollada por el Arq. Robert Gutiérrez Ortiz en investigaciones del Semillero SIMO 3D del grupo GINVEARQUI de la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga, e investigación propia del autor y que forma parte de los contenidos del Diplomado de Piloto de Operaciones RPAS y Fotogrametría, se procede a enlazar el ortomosaico editado en Recap Pro en AutoCAD, con el fin de ubicar los puntos de control y así georreferenciarlo con precisión. Este proceso permite asegurar la correspondencia espacial entre los datos capturados y la realidad física del área estudiada.

Figura 15 Importación y alineación de Ortofoto en AutoCAD**Figura 16** Localización puntos de control

Posteriormente, se llevó a cabo la fotointerpretación de la información georreferenciada, con el objetivo de realizar la planimetría correspondiente. Este paso consistió en identificar y delinear los elementos de interés presentes en el ortomosaico, para el presente caso de estudio las longitudes de los tramos viales intervenidos, como se indica en el plano anexo. (ANEXO 1)

Figura 17 Fotointerpretación Pavimentación Barrio el progreso



4. Resultados

En esta fase, se recopiló y organizó la información obtenida en los pasos anteriores, la cual fue sometida a un proceso de análisis detallado. A partir de esta información, se generaron las comparaciones previamente señaladas en los objetivos del proyecto, lo que permitió establecer conclusiones sólidas.

Para lo anterior, se llevó a cabo una comparación exhaustiva entre los resultados obtenidos mediante el uso de un dron y una estación total. Este análisis incluyó la precisión de los datos obtenidos, el tiempo empleado en cada método, los costos asociados y la calidad del producto final. Las diferencias detectadas en la resolución y el detalle de los levantamientos fueron evaluadas en función de los objetivos del proyecto, lo que permitió establecer recomendaciones sobre el uso de cada tecnología en futuros trabajos similares.

Tabla 1 Áreas tramos viales intervenidos

TRAMO VIAL	ÁREA TOPOGRAFÍA TRADICIONAL	ÁREA LEVANTAMIENTO CON DRON	VARIACIÓN
Tramo No. 1	1305.81	1306.4	-0.59
Tramo No. 2	297.12	297.51	-0.39
Tramo No. 3	539.59	540.25	-0.66
Tramo No. 4	133.98	133.34	0.64
Tramo No. 5	317.9	317.98	-0.08
Tramo No. 6	285.11	285.05	0.06
Tramo No. 7	333.41	333.53	-0.12
ÁREA TOTAL	3212.92	3214.06	-1.14

5. Fotointerpretación ArcGIS

Dando complemento a lo aprendido durante las tutorías, se procede a realizar la fotointerpretación con el software ArcGIS, tal como se evidencia en los planos anexos. Este programa se presenta como una herramienta altamente eficaz para llevar a cabo delimitaciones prediales, dado su precisión en la gestión de datos espaciales y geográficos. Sin embargo, en el presente proyecto, cuyo análisis se enfoca en la infraestructura vial, el uso de ArcGIS se limitó a funciones específicas de comparación y validación, principalmente en la ubicación de las vías.

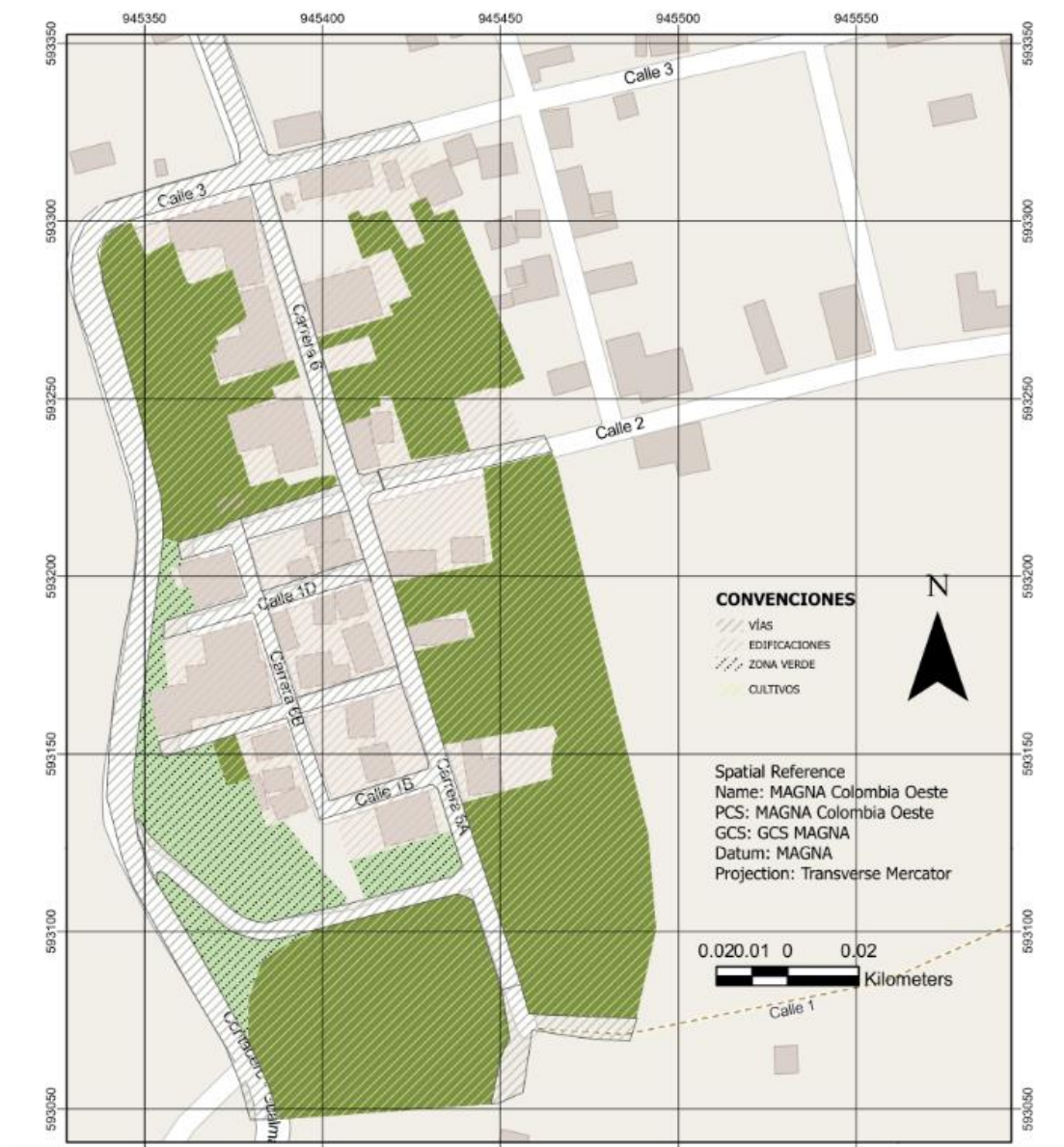
Para este caso particular, ArcGIS fue utilizado para comparar dos tipos de datos: la información satelital de las vías provista por un **base map** y los datos obtenidos mediante el levantamiento topográfico con dron. Esta comparación fue esencial para verificar la concordancia entre las imágenes satelitales y los datos recolectados en campo, asegurando que las coordenadas, trazados y detalles de las vías capturados mediante el dron correspondieran con la realidad geográfica del área de estudio.

El proceso de fotointerpretación en ArcGIS incluyó los siguientes pasos:

1. *Importación de la nube de puntos y el ortomosaico:* Los datos generados con Pix4Dmapper y editados en Recap Pro fueron importados a ArcGIS para su análisis en conjunto con las capas de imágenes satelitales del base map.
2. *Comparación y análisis de vías:* Se trazaron las vías levantadas por el dron y se sobrepuso el ortomosaico sobre las imágenes satelitales del base map de ArcGIS. Este procedimiento permitió detectar posibles discrepancias en la ubicación o características de las vías, las cuales se ajustaron conforme a la realidad capturada por el dron.
3. *Planimetría y ajustes:* Si bien ArcGIS es una herramienta excelente para delimitaciones prediales, su uso en este proyecto se orientó a afinar la georreferenciación de las vías y a

realizar correcciones menores en las alineaciones trazadas por el dron. Los planos resultantes muestran el trazado final, comparando la información del base map con el levantamiento realizado.

Figura 18 Fotointerpretación ArcGIS



6. Conclusiones y recomendaciones

El análisis comparativo entre la topografía convencional y el levantamiento mediante RPAS (drones) utilizando fotointerpretación Point Cloud y escalamiento de ortomosaicos mostró un nivel de precisión del 99.96%. Este resultado confirma que la metodología basada en drones es altamente precisa y viable para proyectos de infraestructura vial, logrando un margen de error prácticamente insignificante en relación con los métodos tradicionales.

En términos de ejecución, el levantamiento con drones presentó una ventaja significativa en cuanto a la reducción de tiempos y costos. La capacidad de capturar grandes áreas en menos tiempo, junto con el procesamiento automatizado de datos, permitió acelerar la generación de la planimetría sin sacrificar la precisión. En comparación, los métodos topográficos tradicionales, aunque precisos, requieren más tiempo y mano de obra especializada, lo que incrementa los costos operativos.

La metodología basada en RPAS facilita la actualización continua de datos, lo que resulta útil en proyectos que requieren monitoreo periódico. La capacidad de realizar nuevos vuelos y generar ortomosaicos actualizados a lo largo del tiempo permite un seguimiento más ágil de las condiciones del terreno y las obras.

Aunque la tecnología RPAS ofrece múltiples ventajas, presenta ciertas limitaciones en entornos urbanos densos o áreas con obstrucciones verticales, como árboles o edificios, que pueden interferir en la captura de datos precisos. La topografía tradicional sigue siendo más adecuada en situaciones donde el levantamiento detallado de pequeñas áreas o espacios complejos es necesario.

Se recomienda combinar ambas metodologías en futuros proyectos. La topografía convencional puede ser utilizada en áreas críticas o con alta densidad de elementos, mientras que

el levantamiento con RPAS se emplea para grandes extensiones o áreas abiertas, optimizando tiempos y recursos.

Aunque el margen de error es bajo, se recomienda realizar evaluaciones periódicas de la precisión de los resultados obtenidos con drones mediante puntos de control georreferenciados, garantizando así la fiabilidad de los datos durante todo el proceso de construcción.

Dado el éxito obtenido en este proyecto, se sugiere aplicar esta metodología en proyectos viales de mayor escala. La tecnología RPAS puede agilizar la planificación y el monitoreo de obras en fases tempranas de ejecución, proporcionando una ventaja competitiva en términos de costos y tiempos.

Referencias

- Anderson, J. M., & Mikhail, E. M. (1998). *Surveying: Theory and Practice*. McGraw-Hill.
- Anderson, JM, y Mikhail, EM (1998). *Topografía: teoría y práctica*.
- AutoCAD. norte *Descripción del software*. Autodesk <https://www.autodesk>
- Autodesk. (2024). *Recap Pro: Software de Autodesk utilizado para la visualización y el procesamiento de datos de escaneo 3D y fotos*. Retrieved from [Autodesk website].
- Ávila, J. (2020). *Innovaciones en topografía para proyectos de infraestructura: un enfoque en fotogrametría y RPAS*. Revista de Ingeniería Civil.
- Ávila, J. (2020). *Innovaciones en topografía para proyectos de infraestructura: un enfoque en fotogrametría y RPAS*. Revista de Ingeniería Civil, 15(2), 45-60.
- Blue Marble Geographics. (2024). *Global Mapper: Herramienta de SIG*. Retrieved from [Blue Marble Geographics website].
- Corral, F. (2020). *Fundamentos de fotogrametría digital: principios y aplicaciones*. Editorial Universitaria.
- Corral, F. (2020). *Fundamentos de fotogrametría digital: principios y aplicaciones* .
- Díaz, J. (2019). *Uso de drones y RPAS en la topografía moderna*. Revista de Ingeniería Geomática, 27(3), 45-56.
- Eisenbeiss, H. (2011). *Fotogrametría de vehículos aéreos no tripulados*. Dissertation, ETH Zurich.
- Empresa DJI. (sf). *Todo lo que necesitas saber sobre topografía con drones* .<https://enterprise-insights.dji.com> .<https://ingeodrone.es/fotogrametria-con-dron>
- En GeoDrone. (2024). *Fotogrametría con dron: ¿En qué consiste?* .<https://ingeodrone.es/fotogrametria-con-dron>

Esri E *Características de ArcGIS Pro*. <https://www.esri.es/es-es/arcgis/productos/arcgis-pro/caracteristicas>

Esri. (2024). *ArcGIS: Plataforma de software desarrollada por Esri para la creación, gestión y análisis de sistemas de información geográfica (SIG)*. Retrieved from [Esri website].

García, L. (2021). *Comparación de métodos topográficos: tradicional vs. Fotogrametría*. Boletín de Cartografía y Geodesia, 35(2), 101-120.

Geografía de mármol azul. (2024). *Mapeador Global: Herramienta de SIG*.

Global M. *Mapeador global*. GeoSoluciones <https://www.geosoluciones.cl/global-mapeador/>

Grün, A. (2012). *Photogrammetric Techniques for Digital Documentation*. Springer.

Grün, A. (2012). *Técnicas fotogramétricas para la documentación digital*. Saltador. 16

Konecny, G. (2003). *Geoinformation: Remote Sensing, Photogrammetry and Geographic Information Systems*. Taylor & Francis.

Kraus, K. (2007). *Photogrammetry: Geometry from Images and Laser Scans*. Walter de Gruyter.

Li, Z. (2010). *Advances in Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences: 2008 ISPRS Congress Book*. CRC Press.

Li, Z. (2010). *Avances en fotogrametría, teledetección y ciencias de la información espacial: Libro del Congreso ISPRS 2008*. CRC P

Pérez, L., & Martínez, R. (2019). *Comparación de la fotogrametría y técnicas tradicionales en la topografía rural: un estudio de caso en Colombia*. Geomatica, 23(1), 23-34.

Pix4D. (2024). *Pix4Dmapper: Transformar imágenes aéreas en modelos 3D precisos y ortomosaicos*.

PlexEarth. (2023). *Elevation modeling: The differences between DTM, DSM, and DEM.*

PlexEarth. <https://support.plexearth.com/hc/en-us/articles/4642425453201-Elevation-Modeling-the-differences-between-DTM-DSM-DEM>

PlexEarth. (2023). *Modelado de elevación: diferencias entre DTM, DSM y DEM* .<https://support.plexearth.com/hc/en-us/articles/4642425453201-Elevation-Mode>

Remondino, F. (2011). *Image-based Modeling Techniques for Architectural Heritage Assessment.* Journal of Cultural Heritage, 12(3), 231-245.

Remondino, F. (2011). *Técnicas de modelado basadas en imágenes para la evaluación del patrimonio arquitectónico* .Revista de Patrimonio Cultural ,

Rodríguez, M., & Ramírez, S. (2023, 1 de mayo). *Drones en la construcción: El valor que las tecnologías de drones aportan al sector de la construcción en América Latina* . sm

UAPix4D: *Qué es, para qué sirve y ejemplos* .<https://uav1>

Wolf, P. R, y Dewitt, B. A. (2000). *Elementos de fotogrametría con aplicaciones en SIG* . McGraw-Hill.